

EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR ABSORBIDA POR UN COLECTOR ACUMULADOR INTEGRADO MONOTANQUE CON CUBIERTAS DE POLICARBONATO ALVEOLAR.

Jorge Barral¹, Gustavo Morichetti¹, Pablo Galimberti¹, Amílcar Fasulo²

¹Universidad Nacional de Río Cuarto - Facultad de Ingeniería - Departamento de Mecánica
 Ruta Nac. 36 Km. 601, 5800 Río Cuarto

Tel./Fax: 0358 4676246 - e-mail: jbarra@ing.unrc.edu.ar

²Universidad Nacional de San Luis - Facultad de Ciencias Exactas - Departamento de Física
 Chacabuco y Pedernera, 5700 San Luis

Tel 02652 423789 int.103, Fax: 02652 430224 - e-mail: afasulo@unsl.edu.ar

RESUMEN: Se desarrolló una metodología para evaluar la energía que absorbe un colector acumulador monotanque con cubiertas de policarbonato alveolar, estudiándose la radiación solar incidente y transmitancia-absortancia del sistema de cubierta. La radiación incidente se determinó dividiendo la superficie cilíndrica vertical exterior del colector en dieciséis planos verticales y evaluando los ángulos de incidencia para cada uno y para la cubierta circular superior. La transmitancia de cubierta se determinó experimentalmente mediante un dispositivo de ángulos acimutal y de inclinación variables, midiendo con tres solarímetros. Se graficaron transmitancia y conversión de directa a difusa en función del ángulo de incidencia, parametrizadas por la orientación del policarbonato. Con estas curvas, la absortancia del tanque y la radiación solar incidente se puede evaluar la energía absorbida. Se obtuvo así un modelo de absorción que puede incorporarse a un programa para simular el comportamiento de estos colectores bajo distintas condiciones climáticas y de demanda.

Palabras clave: Colector acumulador integrado, radiación absorbida, policarbonato alveolar, transmitancia, modelo computacional analítico.

INTRODUCCION

Los colectores con acumulación integrada (CAI) presentan las ventajas de que no necesitan elementos auxiliares para su funcionamiento (como bombas o controladores), ni tanque de almacenamiento, siendo a la vez resistentes al congelamiento en la época invernal. En el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL) se ha desarrollado un prototipo muy novedoso, que se muestra en la Figura 1, consistente en un único tanque de acero inoxidable de gran capacidad pintado de negro y cubierto con varias capas de policarbonato alveolar (Fasulo et al., 1997). Dicho colector y algunas variantes del mismo han sido estudiadas mediante experiencias de larga duración durante varias temporadas y muestran comportamientos muy buenos para la región climática en la que se realizaron los ensayos (Fasulo et al., 2001).

Sería de sumo interés poder contar con un modelo analítico computacional que permita predecir el funcionamiento de este tipo de colector, lo cual habilitaría para analizar con costo prácticamente nulo (siempre que se tengan los datos climáticos) la factibilidad de uso en otros tipos de climas distintos al ensayado hasta ahora y para distintas demandas de agua caliente.

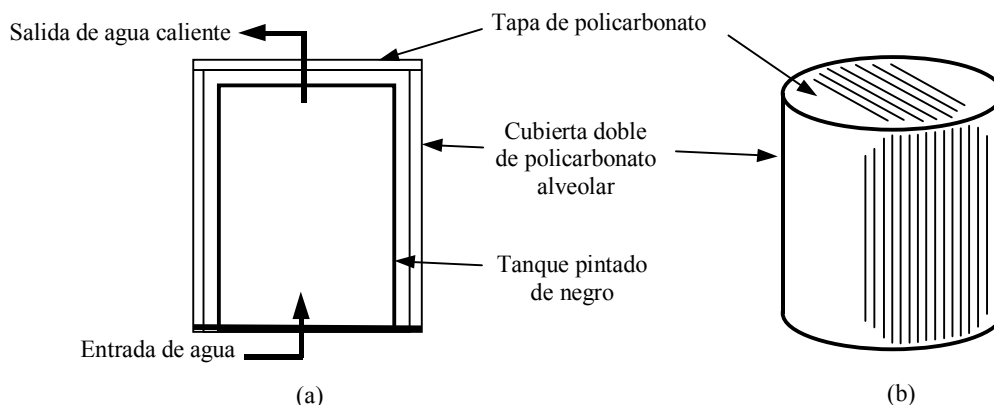


Figura 1. (a) Corte longitudinal del colector acumulador integrado (CAI); (b) Vista en perspectiva con indicación de la dirección de las nervaduras de las planchas de policarbonato.

No se cuenta actualmente con un modelo teórico analítico que responda al comportamiento de dicho colector. Este tipo de colectores poseen gran inercia térmica, razón por la cual no es posible estudiarlos en estado estacionario como se hace con los colectores de placa plana, y deben utilizarse ecuaciones diferenciales, que generalmente se presentan acopladas, que respondan a la variación de las temperaturas en el tiempo. Se suma en este caso particular la dificultad geométrica que se presenta por la incidencia angular de los rayos solares sobre la superficie cilíndrica y la tapa del tanque.

A tal fin, es necesario estudiar el desempeño de estas unidades siguiendo su evolución en períodos cortos de tiempo (fracciones de hora) en simulaciones que consideren varios meses de operación. Dichas simulaciones se podrían realizar en forma numérica, considerando los balances energéticos que den cuenta de la absorción de energía solar, de las pérdidas de calor y de la demanda de agua caliente.

Se presenta a continuación un modelo para computar la absorción de energía solar de este tipo de colectores, el cual se basa en un estudio geométrico de la incidencia de los rayos solares sobre la superficie del tanque, pensado para poder considerar la variación en el tiempo de los ángulos de incidencia a medida que el sol recorre la esfera celeste irradiando sobre el colector.

Para el análisis de la radiación incidente se analizó la parte cilíndrica vertical del colector dividida en dieciséis caras planas verticales, de manera de estudiar la llegada de la radiación separadamente para cada una de ellas, mientras que también por separado se analizó el cómputo de la radiación que incide sobre la cubierta superior horizontal (o tapa) del colector.

Como luego es necesario afectar dicha radiación por la propiedades de transmitancia del policarbonato y absorptancia de la superficie del tanque, las mismas deben ser conocidas. La absorptancia del tanque se obtiene directamente de los datos de la pintura o superficie selectiva utilizada para cubrir el tanque. En el caso del policarbonato surge la dificultad de la falta de homogeneidad del material, ocasionada por influencia de las nervaduras que unen las dos superficies planas de cada cubierta. Estas nervaduras originan notorias variaciones en la transmitancia y la conversión de radiación directa en difusa, las cuales dependen del ángulo de incidencia de los rayos y del ángulo que forman la proyección del rayo incidente sobre el plano del policarbonato y la dirección longitudinal de las nervaduras.

Para evaluar estas propiedades del policarbonato, se realizó una experiencia que asimila el funcionamiento del colector y la superficie absorbente, mediante un dispositivo que permite variar los ángulos acimutales y de inclinación del policarbonato, mientras se realizan mediciones de radiación solar debajo de la cubierta para analizar su transmitancia. Se obtuvieron así curvas de transmitancia y de otro parámetro al cual se le definió como "conversión de directa en difusa". Luego en función de la radiación incidente, con estas curvas y la absorptancia del tanque se desarrolló un modelo analítico para dar cuenta de la radiación absorbida en los intervalos de tiempo que se seleccionen.

DETERMINACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE LA RADIACIÓN INCIDENTE

A fin de computar la radiación solar incidente directa es necesario determinar el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre cada plano exterior del colector. La cubierta superior se trabajó en forma convencional. Para el cálculo dichos ángulos en la superficie vertical, se dividió a la misma en dieciséis caras planas verticales, tal como se muestra en la sección del colector de la Figura 2. Para cada una de las caras, se consideró entonces una dirección de plano acimutal γ , y se determinó el ángulo de incidencia θ , respecto la normal de cada plano que se muestra en la Figura 2. De esta manera es posible utilizar las ecuaciones disponibles para el cálculo de la radiación incidente sobre superficies planas con distintos ángulos acimutales y de inclinación. En estos cálculos se utilizaron las ecuaciones propuestas por Iqbal (1983), con sus correspondientes signos.

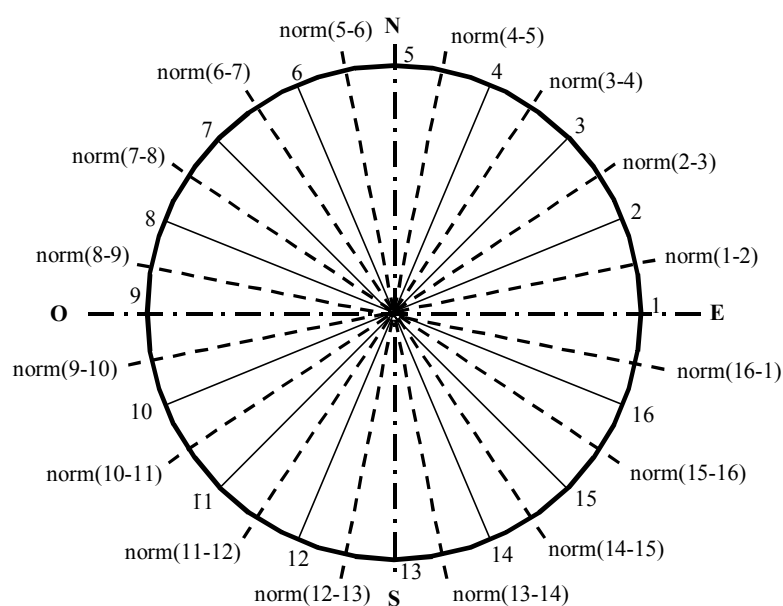


Figura 2. Sección transversal del CAI con los dieciséis sectores en que fue dividida la superficie vertical

Las ecuaciones resultantes fueron codificadas en un programa FORTRAN, a fin de poder contar con un modelo que entregue los distintos valores de ángulo de incidencia para cada plano en función de la latitud del lugar ϕ , el día del año mediante la declinación δ , y el ángulo horario ω . La ecuación utilizada para el cálculo del ángulo de incidencia fue:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\psi - \gamma) \quad (1)$$

en la cual θ_z es el ángulo cenital, β es el ángulo de inclinación, γ es el ángulo acimutal de cada plano, y ψ es el ángulo acimutal solar. θ_z y ψ se calculan mediante las ecuaciones convencionales. Para el caso de la cubierta superior circular superior del colector, tanto el ángulo de inclinación como el acimutal son de 0° , mientras que para las 16 caras verticales el ángulo de inclinación es de 90° y los ángulos acimutales toman un valor distinto para cada plano.

El análisis de los ángulos de incidencia en la cubierta superior no presenta dificultades, pero las caras verticales merecen un tratamiento especial para considerar aquellos planos en que las direcciones acimutales apuntan hacia el sur. De esta manera, cuando a la mañana el sol aparezca sobre el horizonte, será "visto" por algunas superficies que tienen componentes de la normal hacia el este, como la (15-16), (16-1), (1-2), (2-3), etc., mientras que no incidirán sus rayos sobre aquellas superficies que miren hacia el oeste. Luego, a medida que el sol va avanzando en su trayectoria diurna, ira paulatinamente incidiendo sobre las superficies verticales subsiguientes que miran preponderantemente hacia el norte y dejará de hacerlo sobre aquellas que apuntan hacia el sur. Este comportamiento se refleja claramente en la Figura 3, que se ha extraído de una impresión de salida del programa confeccionado. Dicha figura muestra los ángulos de incidencia cada 24 minutos sobre cada una de las dieciséis caras verticales para un día 17 de enero. En la primer fila no se refleja ningún ángulo, dado que se trata de un intervalo de tiempo analizado antes del amanecer. En la fila siguiente, cuando ya ha salido el sol, el mismo incide sobre algunas caras de la mitad superior de la Figura 2, que mira hacia el Norte, pero también lo hace sobre algunas cara de la mitad inferior que mira hacia el Sur. Estos primeros ángulos de incidencia toman valores que dependen del horario de salida del sol y de la orientación fija de cada plano, pero en los que luego el sol va a comenzar a incidir paulatinamente, lo hará comenzando con un ángulo de incidencia máximo, cercano a los 90 grados, como se observa para el plano (4-5) en la fila 7 y para el plano (5-6) en la fila 14 de la Figura 3. Similarmente, cuando el sol deje de incidir sobre los planos, lo hará con un ángulo de incidencia cercano a los 90° (tanto más cerca cuanto menor sea el intervalo de tiempo considerado), como se observa en las filas 20 y 21 para los planos (1-2) y (2-3).

ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN BAJO LA CUBIERTA

Como las planchas de policarbonato no son homogéneas, no se puede realizar un análisis convencional de las mismas. En la Figura 4 se esquematiza la influencia de las nervaduras verticales que unen a las caras externas de planchas. Estas nervaduras

(1-2)	(2-3)	(3-4)	(4-5)	(5-6)	(6-7)	(7-8)	(8-9)	(9-10)	(10-11)	(11-12)	(12-13)	(13-14)	(14-15)	(15-16)	(16-1)
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
35	58	80	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	32	10	13
33	55	77	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	36	14	11
31	53	74	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	40	19	13
30	51	72	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	44	24	16
31	49	70	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	48	30	21
33	49	68	88	---	---	---	---	---	---	---	---	72	52	35	26
35	49	67	86	---	---	---	---	---	---	---	---	75	56	40	31
38	50	66	84	---	---	---	---	---	---	---	---	78	61	46	37
42	51	66	82	---	---	---	---	---	---	---	---	81	65	51	42
47	53	66	80	---	---	---	---	---	---	---	---	84	69	56	48
51	56	66	79	---	---	---	---	---	---	---	---	87	73	61	53
56	59	67	78	---	---	---	---	---	---	---	---	90	77	67	59
61	63	68	77	88	---	---	---	---	---	---	---	---	81	72	64
66	66	70	77	86	---	---	---	---	---	---	---	---	85	77	70
72	70	72	77	83	---	---	---	---	---	---	---	---	89	82	76
77	75	75	77	82	87	---	---	---	---	---	---	---	---	87	81
82	79	77	78	80	84	88	---	---	---	---	---	---	---	---	87
88	84	81	79	79	81	84	88	---	---	---	---	---	---	---	---
---	88	84	80	78	77	79	82	87	---	---	---	---	---	---	---
---	---	87	82	77	75	75	77	81	87	---	---	---	---	---	---
---	---	---	83	77	72	70	72	76	82	89	---	---	---	---	---
---	---	---	86	77	70	66	66	70	77	85	---	---	---	---	---
---	---	---	88	77	68	63	61	64	72	81	---	---	---	---	---
---	---	---	---	78	67	59	56	59	67	77	90	---	---	---	---
---	---	---	---	79	66	56	51	53	61	73	87	---	---	---	---
---	---	---	---	80	66	53	47	48	56	69	84	---	---	---	---
---	---	---	---	82	66	51	42	42	51	65	81	---	---	---	---
---	---	---	---	84	66	50	38	37	46	61	78	---	---	---	---
---	---	---	---	86	67	49	35	31	40	56	75	---	---	---	---
---	---	---	---	88	68	49	33	26	35	52	72	---	---	---	---
---	---	---	---	---	70	49	31	21	30	48	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	72	51	30	16	24	44	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	74	53	31	13	19	40	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	77	55	33	11	14	36	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	80	58	35	13	10	32	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 3. Ángulos de incidencia (en grados) cada 24 minutos para las distintas caras verticales del CAI durante un día del mes de enero.

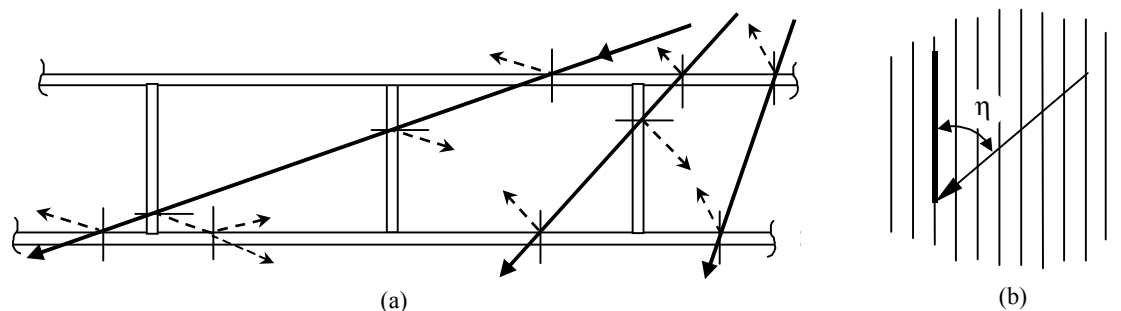


Figura 4. (a) Corte transversal de la plancha de policarbonato y esquema de reflexiones internas; (b) Vista superior de la plancha mostrando el ángulo entre la proyección del rayo incidente sobre la cubierta y la dirección de las nervaduras del policarbonato.

originan una serie de reflexiones y refracciones (no esquematizadas) internas, que van a depender del ángulo de incidencia de los rayos y de la dirección de la proyección de éstos sobre la plancha respecto a las nervaduras, η . Mientras mayor sean los ángulo de incidencia, Figura 4(a), más cantidad de paredes verticales cruzará el rayo. Por otro lado, para igual ángulo de incidencia, a mayor ángulo η , más cantidad de paredes verticales cruzará el rayo. Esto hace que la radiación directa que arriba al policarbonato sufra un grado de dispersión variable dependiendo de estos dos ángulos (θ y η) y que parte de la radiación directa que llega a la parte superior de la cubierta pase debajo de ésta, no solamente atenuada sino además parcialmente convertida en radiación difusa. Esto se comprobó al mirar la sombra que producía un objeto colocado entre el sol y el policarbonato y variando los ángulos mencionados; la sombra se hacía más difusa con los incrementos de θ y η .

Dada la complejidad que se presenta para analizar este problema analíticamente, se decidió realizar un estudio experimental del mismo, simulando el sistema de cubierta del colector mediante un dispositivo que permita la variación de los dos ángulos mencionados y midiendo la radiación directa y difusa debajo de la cubierta. Dicho dispositivo se muestra en la Figura 5(a), en la cual se observa la disposición de los solarímetros como así también del disco de sombra utilizado para eliminar la radiación directa bajo cubierta, para medir difusa total y permitir el cálculo de directa y directa convertida a difusa mediante diferencia. La Figura 5(b) muestra los ángulos de incidencia del sol y acimutal del plano de cubierta (Iqbal, 1983).

Dado que lo que es factible de variar con facilidad son los ángulos acimutales y de inclinación del plano, a partir de la fijación de los valores de ellos se echó mano a herramientas del álgebra lineal (Strang, 1982) para la determinación de los restantes ángulos, utilizaron métodos de cálculo de ángulos y proyecciones de rectas sobre planos.

Se midió radiación global horizontal, I , mediante un piranómetro de precisión, y en función de la radiación horizontal extraterrestre se calcularon los índices de claridad y se realizó la descomposición en radiación directa, I_b , y difusa, I_d , con las correlaciones de Erbs et al. (Duffie y Beckman, 1991). Luego con el factor geométrico, $R_b = (\cos\theta / \cos\theta_z)$, se refirió la radiación directa al plano de la cubierta, I_{bT} .

La radiación directa bajo cubierta, I_{bA} , se determinó de la diferencia entre el solarímetro descubierto y el bloqueado a directa, que mide difusa total bajo cubierta, I_{dA} . Luego, la transmitancia para radiación solar directa se calculó mediante $\tau_b = I_{bA} / I_{bT}$. Se supuso que la radiación difusa que incidía sobre la cubierta se transmitía hacia abajo de la forma convencional, a la cual se la denominó I_{ddA} . Luego, el porcentaje de radiación directa que se convierte en difusa, C_{bd} , se calculó mediante la siguiente ecuación:

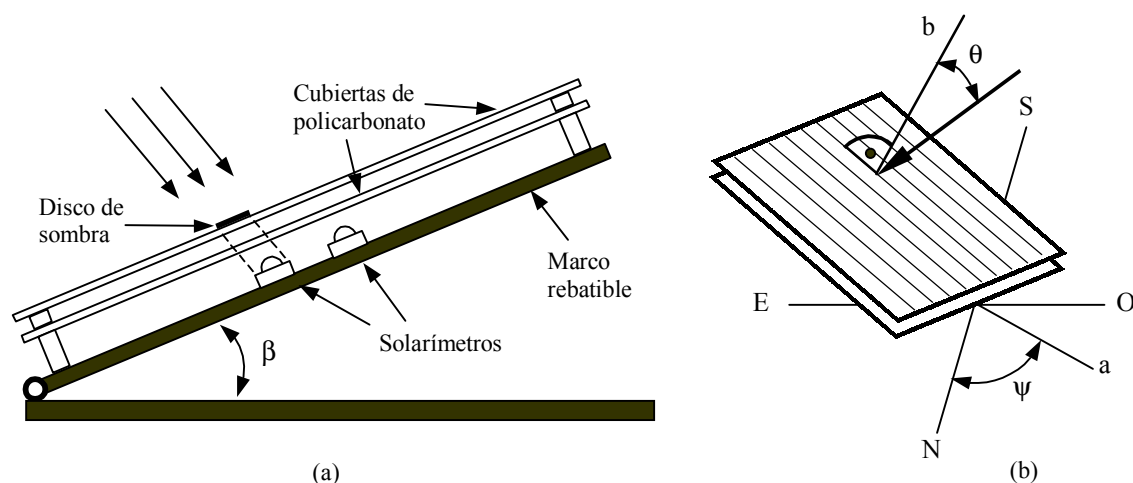


Figura 5. (a) Esquema del dispositivo utilizado para la medición de la radiación solar bajo la cubierta doble; (b) Sistema de cubierta con ángulos de incidencia y acimutal.

$$C_{bd} = \frac{I_{dA} - I_{ddA}}{I_{bT}} \quad (2)$$

La transmitancia de radiación directa se muestra en la Figura 6(a) y el factor de conversión de directa a difusa se muestra en la Figura 6(b). Estos resultados se obtuvieron realizando varias series de mediciones y promediando los valores. Se observa que las curvas respondieron a la suposición efectuada. En el caso de la transmitancia de radiación directa, las curvas se juntan al aproximarse a ángulos pequeños de incidencia tendiendo a hacerse independiente del ángulo η , lo cual refleja el hecho de que los ángulos de incidencia pequeños, tienden a atravesar cada vez menos paredes verticales y cuando tiendan a cero mostrarán el mismo valor de transmitancia moviéndose por cualquier dirección η . Por otro lado se ve claramente que la transmitancia baja a medida que los ángulos de incidencia aumentan para un mismo η y que también baja si para un mismo ángulo de incidencia nos movemos cambiando η . Por el contrario, en lo que respecta al factor de conversión de directa a difusa, el mismo aumenta a medida que aumentan el ángulo de incidencia y el ángulo η .

CÁLCULO DE LA RADIACIÓN ABSORBIDA

Con estos resultados se elaboró de una ecuación para incorporar a un programa que compute la radiación absorbida por unidad de área por los diferentes planos del colector para distintos intervalos de tiempo. En función de los resultados obtenidos se propuso la siguiente ecuación, en la cual por simplicidad no se ha considerado la reflectancia del suelo:

$$S = I_b R_b (\tau\alpha)_b + I_d (\tau\alpha)_d + (C_{bd}\alpha) I_b \quad (3)$$

en la que el primer término del segundo miembro representa la componente que llega en forma directa, siendo $(\tau\alpha)_b$ el producto transmitancia-absortancia (Duffie y Beckman, 1991), para el cálculo del cual la transmitancia se obtiene del gráfico de la Figura 6(a) y la absortancia α de la superficie del tanque es dato de los fabricantes de pinturas o superficies selectivas, y depende del ángulo de incidencia. El segundo término del segundo miembro es la componente difusa que se computa en forma convencional. El tercer término representa a la radiación directa que es atenuada y convertida en difusa, obteniéndose C_{bd} de la figura 6(b). En estos dos últimos términos, la transmitancia y el factor de conversión C_{bd} se trabajan en forma convencional con las absortancias α para conformar los productos transmitancia-absortancia $(\tau\alpha)_d$ y $(C_{bd}\alpha)$. Como las I están en W/m^2 , cada valor de S debe multiplicarse por el área correspondiente para obtener energía. En resumen, la radiación que llega a la cubierta formada por componentes directa y difusa, luego de atravesar la cubierta y ser afectada por la absorción de la superficie del tanque, la tratamos como compuesta de tres componentes: una debida a la directa, otra a la difusa en forma convencional y otra también difusa originada por la dispersión y reflexiones múltiples que sufre la radiación directa.

Los cálculos deben realizarse para cada intervalo de tiempo, obteniéndose los valores de ángulo de incidencia para las dieciséis superficies verticales y la superficie de la cubierta superior, de acuerdo a lo establecido en la segunda sección de este trabajo y luego componiéndose los términos de la ecuación (3) con los datos de radiación del lugar que se dispongan, los valores que correspondan de los gráficos de la Figura 6 y la absortancia α , todos éstos con sus correspondientes dependencias angulares. Ésto ha sido integrado en un programa codificado en FORTRAN, en el cual se pueden establecer los intervalos de tiempo que se deseen, siempre que los mismos se hagan corresponder con los datos disponibles de radiación solar. El programa interpola los valores de transmitancia y factor de conversión de acuerdo a ecuaciones que responden a los gráficos de la Figura 6, como así también incorpora otras ecuaciones para el cálculo de reflectancias, transmitancias y absortancias (Duffie y Beckman, 1991).

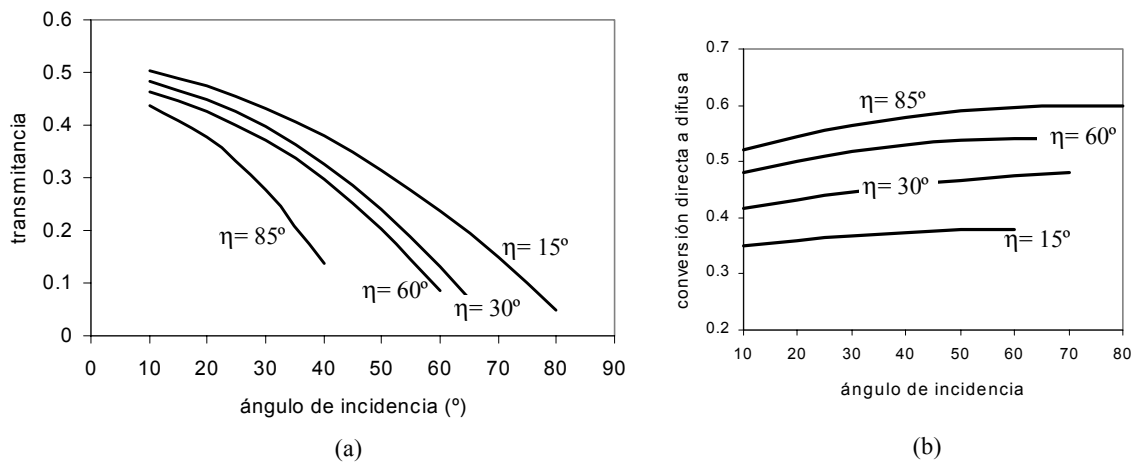


Figura 6. (a) Transmitancia del policarbonato para radiación directa, en función del ángulo de incidencia para distintos ángulos entre la proyección del rayo y las nervaduras;
(b) Porcentaje de conversión de radiación directa a difusa, en función del ángulo de incidencia para distintos ángulos entre la proyección del rayo y las nervaduras.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se ha obtenido un modelo analítico que permite evaluar la energía absorbida por un colector acumulador integrado monotanque con cubiertas múltiples de policarbonato. Dicho modelo podría pasar a formar parte de un programa de simulación más completo que compute además las pérdidas energéticas y la demanda de agua caliente del colector, lo cual se espera realizar en próximos trabajos. En este sentido, el modelo desarrollado realiza los cálculos para los intervalos de tiempo que se deseen, brindando de esta manera la posibilidad de un cálculo numérico preciso para este tipo de colectores con gran inercia térmica que no responden adecuadamente a cómputos en función de valores medios.

Resulta novedoso el uso de curvas experimentales como las presentadas en la Figura 6, las cuales muestran el efecto de la no homogeneidad de las planchas de policarbonato. En este trabajo se han estudiado en particular un tipo de policarbonato alveolar (planchas de 4 mm de espesor). Para la utilización de otros policarbonatos y/o otras cantidades de planchas en las cubiertas se deben realizar nuevas experiencias para determinar las curvas que correspondan.

El modelo debe aún perfeccionarse con el agregado de una eventual componente de radiación reflejada del suelo y aunque está basado en ecuaciones y datos conocidos y la experiencia de la cubierta, un modelo computacional completo que considere también las pérdidas y demanda de agua caliente debería someterse a un proceso de validación experimental para distintas condiciones de funcionamiento.

NOMENCLATURA

C_{bd}	Factor de conversión de radiación directa a difusa.
I	Radiación global horizontal (W/m^2)
I_b	Radiación directa horizontal (W/m^2)
I_{bA}	Radiación directa debajo de la cubierta (W/m^2)
I_{bT}	Componente de radiación directa perpendicular a la superficie inclinada de la cubierta
I_d	Radiación difusa horizontal (W/m^2)
I_{dA}	Radiación difusa total debajo de la cubierta (W/m^2)
I_{ddA}	Radiación difusa debajo de la cubierta originada por la radiación difusa exterior (W/m^2)
R_b	Factor geométrico
S	Radiación solar absorbida por el tanque por unidad de área (W/m^2)
α	Absortancia de la superficie del tanque
β	Ángulo de inclinación de la cubierta utilizada en la experiencia
γ	Ángulo acimutal del plano de cubierta
η	Ángulo entre la proyección del rayo incidente sobre la cubierta y la dirección de las nervaduras del policarbonato
θ	Ángulo de incidencia de los rayos solares
θ_z	Ángulo cenital
τ_b	Transmitancia que afecta a la radiación directa
ψ	Ángulo acimutal del sol

REFERENCIAS

- Duffie J. A. y Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2ª edición. Wiley Interscience, New York.
- Fasulo A. J., Perelló D. y Follari J. (1997). Un colector solar acumulador. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 1, pp. 93-96.
- Fasulo A. J., Follari J. y Barral J. (2001). Comparison between a simple solar collector accumulator and a conventional accumulator. *Solar Energy*, en prensa.
- Iqbal M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, Toronto.
- Strang G. (1982). *Álgebra lineal y sus aplicaciones*. Fondo Educativo Interamericano, S. A., México.

ABSTRACT: A methodology was developed to calculate the energy that a monotank integral collector storage glazed by alveolar polycarbonate absorbs, studying the incident solar radiation and the cover system transmittance. The incident radiation was determined by dividing the vertical cylindrical surface into sixteen vertical flat surfaces and calculating the angle of incidence for each of them and the top cover. The cover system transmittance was determined experimentally, using an apparatus that varies the azimuth and slope angles and three solarimeters. Transmittances and conversion from direct to diffuse were plotted as a function of angles of incidence, with the direction of the surfaces as parameters. Using these curves, the tank solar absorptance and the incident solar radiation, the absorbed energy can be calculated. Therefore, an energy absorption model was obtained, which could be incorporated into a program to simulate the behaviour of these collectors under different climatic conditions and hot water demand.

Keywords: Integral collector storage, absorbed radiation, alveolar polycarbonate, transmittance, analytical computational model.